



CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL PEDRO MARTINS GUERRA

ELETRICIDADE BÁSICA

Itabira

2004



FIEMG
CIEMG
SESI
SENAI
IEL

Sistema FIEMG

Presidente da FIEMG

Robson Braga de Andrade

Gestor do SENAI

Petrônio Machado Zica

Diretor Regional do SENAI e

Superintendente de Conhecimento e Tecnologia

Alexandre Magno Leão dos Santos

Gerente de Educação e Tecnologia

Edmar Fernando de Alcântara

Elaboração/Organização

Márcio Antônio Silveira

Unidade Operacional

Centro de Formação Profissional Pedro Martins Guerra

Sumário

APRESENTAÇÃO	06
1. ENERGIA E MATÉRIA	07
1.1 Composição da Matéria	08
1.2 Molécula	08
1.3 Átomo	09
1.4 Íons	09
2. FUNDAMENTOS DE CORRENTE CONTÍNUA	11
2.1 Eletrização	11
2.2 Relação Entre Desequilíbrio e Potencial Elétrico	13
2.3 Diferença de Potencial (ddp)	14
3. FONTES GERADORAS DE ELETRICIDADE E CORRENTE ELÉTRICA	17
3.1 Ação Química	17
3.2 Ação Magnética	18
3.3 Corrente Elétrica	18
4. CIRCUITOS ELÉTRICOS E RESISTÊNCIA ELÉTRICA	20
4.1 Materiais Condutores	20
4.2 Materiais Isolantes	21
4.3 Circuito Elétrico	21
4.3.1 Série	23
4.3.2 Paralelo	23
4.3.3 Misto	24
4.4 Resistência Elétrica	24
5. ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS E LEI DE OHM	28
5.1 Tipos de Associação de Resistências	28
5.2 Resistências Equivalentes	30
6. LEIS KIRCHHOFF	35
6.1 Primeira Lei de Kirchhoff	35
6.2 Segunda Lei de Kirchhoff	39
7. POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC	41
7.1 Determinação da Potência de um Consumidor em CC	42
7.2 Potência Nominal	44
8. MEDIÇÕES E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÕES	46
8.1 Voltímetro	46
8.2 Amperímetro	46
8.3 Ohmímetro	46
8.4 Multímetro	46
8.5 Wattímetro	46

FIEMG

CIEMG

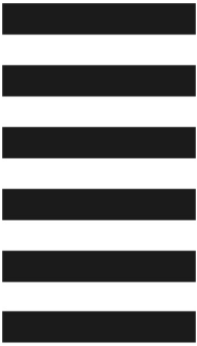
SESI

SENAI

IEL

9. INTRODUÇÃO AO ELETROMAGNETISMO	49
9.1 Magnetismo	49
9.2 Fluxo de Indução Magnética	52
9.3 Eletromagnetismo	54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
---	-----------



FIEMG
CIEMG
SESI
SENAI
IEL

Sistema FIEMG

Apresentação

“Muda a forma de trabalhar, agir, sentir, pensar na chamada sociedade do conhecimento.”
Peter Drucker

O ingresso na sociedade da informação exige mudanças profundas em todos os perfis profissionais, especialmente naqueles diretamente envolvidos na produção, coleta, disseminação e uso da informação.

O **SENAI**, maior rede privada de educação profissional do país, sabe disso, e, consciente do seu papel formativo, educa o trabalhador sob a égide do conceito da competência: *“formar o profissional com responsabilidade no processo produtivo, com iniciativa na resolução de problemas, com conhecimentos técnicos aprofundados, flexibilidade e criatividade, empreendedorismo e consciência da necessidade de educação continuada.”*

Vivemos numa sociedade da informação. O conhecimento, na sua área tecnológica, amplia-se e se multiplica a cada dia. Uma constante atualização se faz necessária. Para o **SENAI**, cuidar do seu acervo bibliográfico, da sua infraestrutura, da conexão de suas escolas à rede mundial de informações – internet – é tão importante quanto zelar pela produção de material didático.

Isto porque, nos embates diários, instrutores e alunos, nas diversas oficinas e laboratórios do **SENAI**, fazem com que as informações, contidas nos materiais didáticos, tomem sentido e se concretizem em múltiplos conhecimentos.

O **SENAI** deseja, por meio dos diversos materiais didáticos, aguçar a sua curiosidade, responder às suas demandas de informações e construir *links* entre os diversos conhecimentos, tão importantes para sua formação continuada!

Gerência de Educação e Tecnologia

1. ENERGIA E MATÉRIA

Freqüentemente usamos a palavra energia. Às vezes, ouvimos dizer que determinado alimento é rico em energia, que recebemos energia do sol ou então, que o custo da energia elétrica aumentou. Fala-se também em energia térmica, química, nuclear... A energia está presente em quase todas as atividades do homem moderno.

Por isso, para o profissional da área eletroeletrônica, é primordial conhecer os segredos da energia elétrica.

Estudaremos algumas formas de energia que se conhece, sua conservação e unidades de medida.

Energia e Trabalho

A energia está sempre associada a um trabalho. Por isso, dizemos que energia é a capacidade que um corpo possui de realizar um trabalho. Como exemplo de energia, pode-se citar uma mola comprimida ou estendida, e a água, represada ou corrente.

Assim como há vários modos de realizar um trabalho, também há várias formas de energia. Em nosso curso, falaremos mais sobre a energia elétrica e seus efeitos, porém devemos ter conhecimentos sobre outras formas de energia.

Dentre as muitas formas de energia que existem, podemos citar:

- energia potencial;
- energia cinética;
- energia mecânica;
- energia térmica;
- energia química;
- energia elétrica.

A energia é potencial quando se encontra em repouso, ou seja, armazenada em um determinado corpo. Como exemplo de energia potencial, pode-se citar um veículo no topo de uma ladeira e a água de uma represa.

A energia cinética é a consequência do movimento de um corpo. Como exemplos de energia cinética pode-se citar um esquetista em velocidade que aproveita a energia cinética para subir uma rampa ou a abertura das comportas de uma represa que faz girarem as turbinas dos geradores das hidroelétricas.

A energia mecânica é a soma da energia potencial com a energia cinética presentes em um determinado corpo. Ela se manifesta pela produção de um trabalho mecânico, ou seja, o deslocamento de um corpo. Como exemplo de energia mecânica podemos citar um operário empurrando um carrinho ou um torno em movimento.

A energia térmica se manifesta através da variação da temperatura nos corpos. A máquina a vapor, que usa o calor para aquecer a água transformando-a em vapor que acionará os pistões, pode ser citada como exemplo de energia térmica.

A energia química manifesta-se quando certos corpos são postos em contato, proporcionando reações químicas. O exemplo mais comum de energia química é a pilha elétrica.

A energia elétrica manifesta-se por seus efeitos magnéticos, térmicos, luminosos, químicos e fisiológicos. Como exemplo desses efeitos, podemos citar:

- a rotação de um motor (efeito magnético);
- o aquecimento de uma resistência para esquentar a água do chuveiro (efeito térmico);
- a luz de uma lâmpada (efeito luminoso);
- a eletrólise da água (efeito químico);
- a contração muscular de um organismo vivo ao levar um choque elétrico (efeito fisiológico).

1.1 COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA

Matéria é tudo aquilo que nos cerca e que ocupa um lugar no espaço. Ela se apresenta em porções limitadas que recebem o nome de corpos. Estes podem ser **simples** ou **compostos**.

***Observação:** Existem coisas com as quais temos contato na vida diária que não ocupam lugar no espaço, não sendo, portanto, matéria. Exemplos desses fenômenos são o som, o calor e a eletricidade.*

Corpos simples: são aqueles formados por um único átomo. São também chamados de elementos. O ouro, o cobre, o hidrogênio são exemplos de elementos.

Corpos compostos: são aqueles formados por uma combinação de dois ou mais elementos. São exemplos de corpos compostos o cloreto de sódio (ou sal de cozinha) que é formado pela combinação de cloro e sódio, e a água, formada pela combinação de oxigênio e hidrogênio.

A matéria e, conseqüentemente, os corpos compõem-se de moléculas e átomos.

1.2 MOLÉCULA

Molécula é a menor partícula em que se pode dividir uma substância de modo que ela mantenha as mesmas características da substância que a originou.

1.3 ÁTOMO

Os animais, as plantas, as rochas, as águas dos rios, lagos e oceanos e tudo o que nos cerca é composto de átomos.

O átomo é a menor partícula em que se pode dividir um elemento e que, ainda assim, conserva as propriedades físicas e químicas desse elemento.

Constituição do Átomo

O átomo é formado por uma parte central chamada **núcleo** e uma parte periférica formada pelos **elétrons** e denominada **eletrosfera**.

O núcleo é constituído por dois tipos de partículas: os **prótons**, com carga positiva, e os **nêutrons**, que são eletricamente neutros.

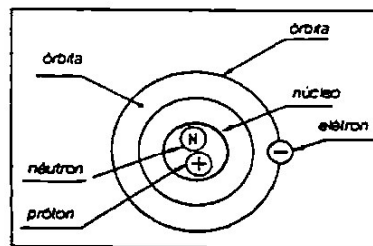


Figura 1.1 - Representação esquemática de um átomo

Os prótons, juntamente com os nêutrons, são os responsáveis pela parte mais pesada do átomo.

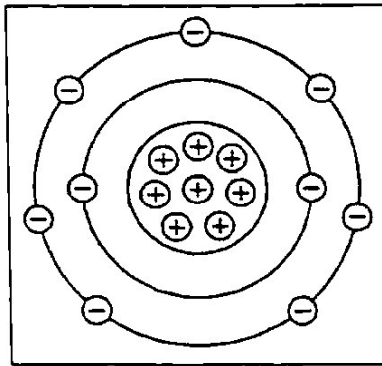
Os elétrons possuem carga **negativa**. Como os planetas do sistema solar, eles giram na eletrosfera ao redor do núcleo, descrevendo trajetórias que se chamam **órbitas**.

1.4 ÍONS

No seu estado natural, o átomo possui o número de prótons igual ao número de elétrons. Nessa condição, dizemos que o átomo está em equilíbrio ou eletricamente neutro.

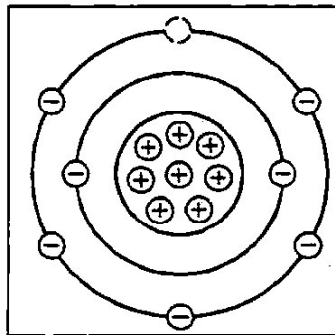
O átomo está em desequilíbrio quando tem o número de elétrons maior ou menor que o número de prótons. Esse desequilíbrio é causado sempre por forças externas que podem ser magnéticas, térmicas ou químicas.

O átomo em desequilíbrio é chamado de íon. O íon pode ser negativo ou positivo. Os íons negativos são os ânions e os íons positivos são os cátions.



Prótons = +8
Elétrons = -9
 Resultado = -1

Figura 1.2 - Íons negativos, ou seja, ânions, são átomos que receberam elétrons.



Prótons = +8
Elétrons = -7
 Resultado = +1

Figura 1.3 - Íons positivos, ou seja, cátions, são átomos que perderam elétrons.

A transformação de um átomo em íon ocorre devido a forças externas ao próprio átomo. Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência natural do átomo é atingir o equilíbrio elétrico. Para atingir esse equilíbrio, ele cede elétrons que estão em excesso ou recupera os elétrons em falta.

2. FUNDAMENTOS DA CORRENTE CONTÍNUA

2.1 ELETRIZAÇÃO

O estudo da eletricidade é organizado em dois campos: a eletrostática e a eletrodinâmica.

Eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a eletricidade estática. Dá-se o nome de eletricidade estática à eletricidade produzida por cargas elétricas em repouso em um corpo.

Na eletricidade estática, estudamos as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos corpos eletrizados.

Um corpo se eletriza negativamente (-) quando ganha elétrons e positivamente (+) quando perde elétrons.

Entre corpos eletrizados, ocorre o efeito da atração quando as cargas elétricas têm sinais contrários. O efeito da repulsão acontece quando as cargas elétricas dos corpos eletrizados têm sinais iguais.

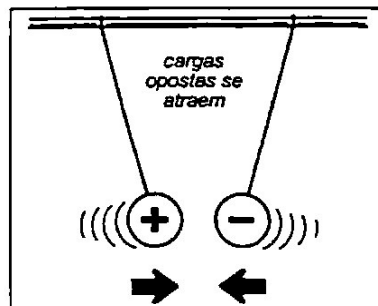


Figura 2.1

No estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente neutra. Isso significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção da matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será igual.

Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente.

O processo pelo qual se faz com que um corpo eletricamente neutro fique carregado é chamado **eletrização**.

A maneira mais comum de provocar eletrização é por meio de atrito. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito provoca uma eletrização negativa do pente, isto é, o pente ganha elétrons.

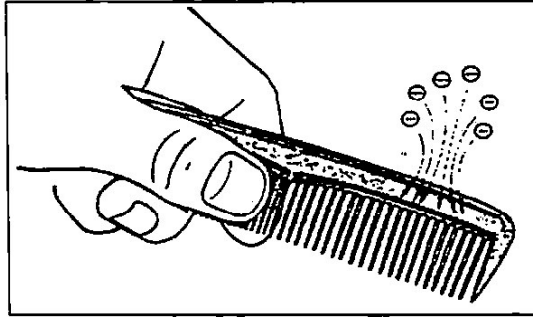


Figura 2.2

Ao aproximarmos o pente negativamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização.

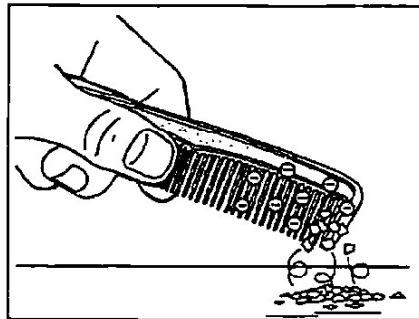


Figura 2.3

A eletrização pode ainda ser obtida por outros processos como, por exemplo, por contato ou por indução. Em qualquer processo, contudo, obtém-se corpos carregados eletricamente.

Descargas Elétricas

Sempre que dois corpos com cargas elétricas contrárias são colocados próximos um do outro, em condições favoráveis, o excesso de elétrons de um deles é atraído na direção daquele que está com falta de elétrons, sob a forma de uma descarga elétrica. Essa descarga pode ser dar por contato ou por arco.

Quando dois materiais possuem grande diferença de cargas elétricas, uma grande quantidade de carga elétrica negativa pode passar de um material para outro pelo ar. Essa é a descarga elétrica por arco.

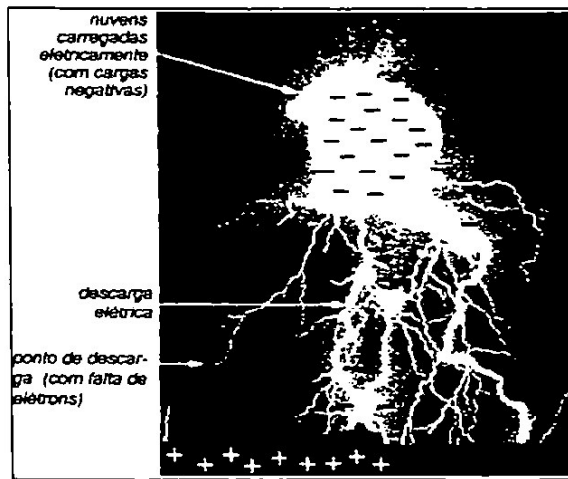


Figura 2.4 - O raio em uma tempestade é um bom exemplo de descarga por arco.

2.2 RELAÇÃO ENTRE DESEQUILÍBRIO E POTENCIAL ELÉTRICO

Por meio dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem intensamente ou fracamente eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado. Se ele for fracamente atritado, sua eletrização será fraca.

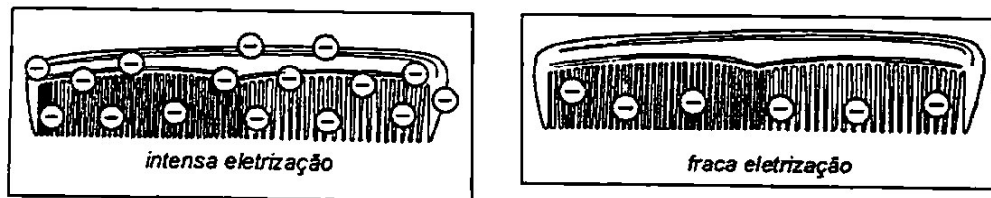


Figura 2.5

O pente intensamente atritado tem maior capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel.

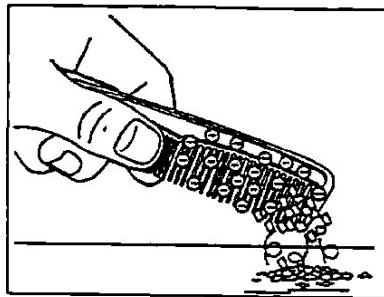


Figura 2.6

Como a maior capacidade de realizar trabalho significa maior potencial, conclui-se que o pente eletrizado tem maior potencial elétrico.

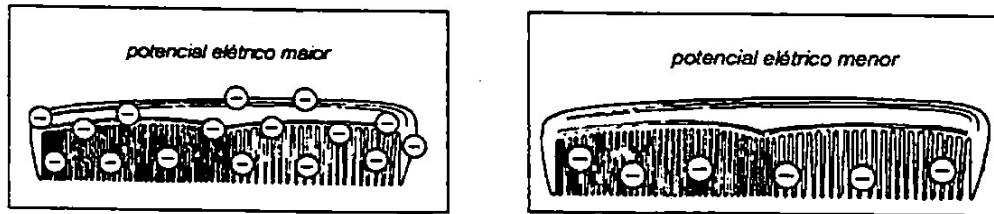


Figura 2.7

O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim, um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico duas vezes maior que outro, tem um potencial elétrico duas vezes maior.

2.3 DIFERENÇA DE POTENCIAL (ddp)

Carga Elétrica

Como certos átomos são forçados a ceder elétrons e outros a receber elétrons, é possível produzir uma transferência de elétrons de um corpo para outro.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui, é determinada pela diferença entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém.

O símbolo que representa a quantidade de carga elétrica de um corpo é Q e sua unidade de medida é Coulomb (C).

Observação: $1 \text{ coulomb} = 6,25 \times 10^{18} \text{ elétrons}$.

Diferença de Potencial

Quando se compara o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, automaticamente está se comparando os seus potenciais elétricos. A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre esses dois corpos.

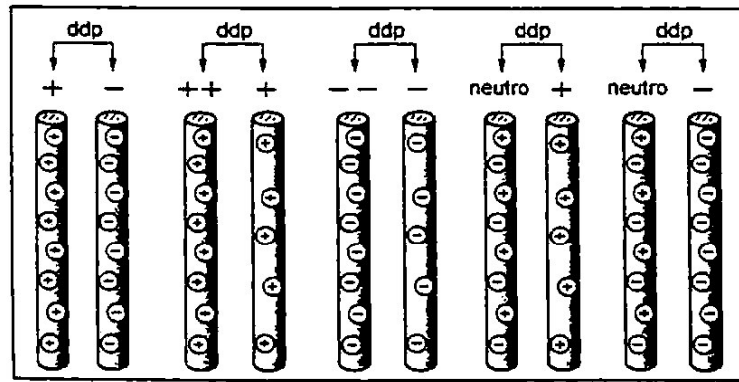


Figura 2.8 - A diferença de potencial (abreviada para ddp) existe entre corpos eletrizados com cargas diferentes ou com o mesmo tipo de carga.

A diferença de potencial elétrico entre dois corpos eletrizados também é denominada de tensão elétrica, importantíssima nos estudos relacionados à eletricidade e à eletrônica.

Observação: No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se exclusivamente a palavra *tensão* para indicar a ddp ou tensão elétrica.

Unidade de Medida de Tensão Elétrica

A tensão (ou ddp) entre dois pontos pode ser medida por meio de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o volt, que é representado pelo símbolo V.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade de medida de tensão (volt) também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir:

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR COM RELAÇÃO AO VOLT
Múltiplos	megavolt	MV	10^6 V ou 1000000V
	quilovolt	KV	10^3 V ou 1000V
Unidade	volt	V	-
Submúltiplos	milivolt	Mv	10^{-3} V ou 0,001V
	microvolt	μ V	10^{-6} v OU 0,000001v

Tabela 2.1

Observação: Em eletricidade empregam-se mais freqüentemente o volt e o quilovolt como unidades de medida, ao passo que em eletrônica as unidades de medida mais usadas são o volt, o milivolt e o microvolt.

Pilha ou Bateria Elétrica

A existência de tensão é imprescindível para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Para que eles funcionem, foram desenvolvidos dispositivos capazes e criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica. Genericamente esses dispositivos são chamados fontes geradoras de tensão. As pilhas, baterias ou acumuladores e geradores são exemplos desse tipo de fonte.

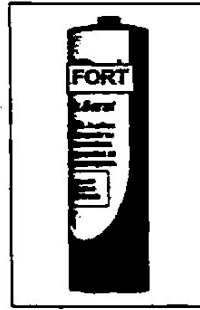


Figura 2.9

As pilhas são fontes geradoras de tensão constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico. Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando para outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo. Entre os dois metais existe, portanto, uma ddp ou uma tensão elétrica.

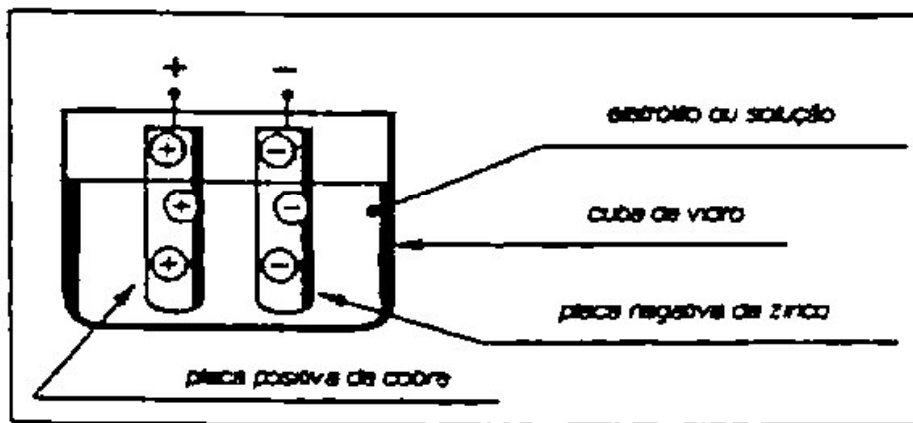


Figura 2.10

3. FONTES GERADORAS DE ELETRICIDADE E CORRENTE ELÉTRICA

A existência da tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os aparelhos elétricos. As fontes geradoras são os meios pelos quais se pode fornecer a tensão necessária ao funcionamento desses consumidores.

Essas fontes geram energia elétrica de vários modos:

- por ação térmica;
- por ação da luz;
- por ação mecânica;
- por ação química;
- por ação magnética.

Estudaremos como se dá a geração de energia elétrica por ação química e magnética.

3.1 AÇÃO QUÍMICA

A geração de energia elétrica por ação química acontece da seguinte forma: dois metais diferentes como cobre e zinco são colocados dentro de uma solução química (ou eletrólito) composta de sal ($H_2O + NaCl$) ou ácido sulfúrico ($H_2O + H_2SO_4$), constituindo-se de uma célula primária.

A reação química entre o eletrólito e os metais vai retirando os elétrons do zinco. Estes passam pelo eletrólito e vão se depositando no cobre. Dessa forma, obtém-se uma diferença de potencial, ou tensão, entre os bornes ligados no zinco (negativo) e no cobre (positivo).

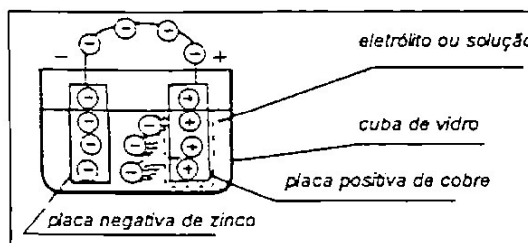


Figura 3.1

A pilha de lanterna funciona segundo o princípio da célula primária que acabamos de descrever. Ela é constituída basicamente por dois tipos de materiais em contato com um preparado químico.

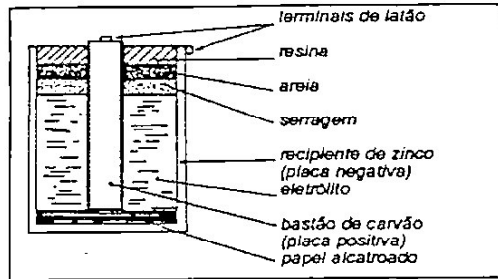


Figura 3.2

3.2 AÇÃO MAGNÉTICA

Esse é o método mais comum de produção de energia elétrica em larga escala. A eletricidade gerada por ação magnética é produzida quando um condutor é movimentado dentro do raio de ação de um campo magnético. Isso cria uma ddp que aumenta ou diminui com o aumento ou a diminuição da velocidade do condutor ou da intensidade do campo magnético.

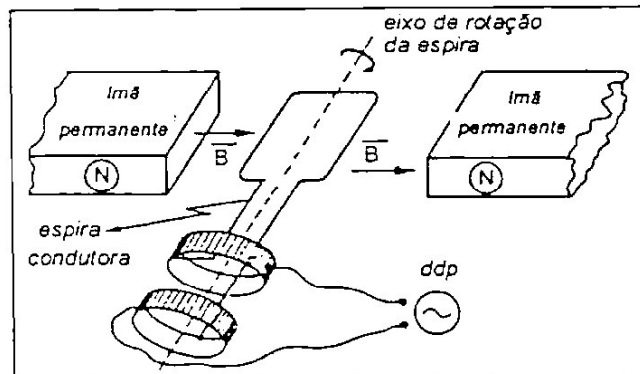


Figura 3.3

A tensão gerada por este método é chamada de tensão alternada, pois suas polaridades são variáveis, ou seja, se alternam.

Os alternadores e dínamos são exemplos de fontes geradoras que produzem energia elétrica segundo o princípio que acaba de ser descrito.

3.3 CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (ddp) entre dois pontos. A corrente elétrica é a forma pela qual os corpos eletrizados procuram restabelecer o equilíbrio elétrico.

Para que haja corrente elétrica, é necessário que haja ddp e que o circuito esteja fechado. Logo, pode-se afirmar que existe tensão sem corrente, mas nunca existirá corrente sem tensão. Isso acontece porque a tensão orienta as cargas elétricas.

O símbolo para representar a intensidade da corrente elétrica é a letra **I**.

Unidade de Medida de Corrente

Corrente é uma grandeza elétrica e, como toda a grandeza, pode ter sua intensidade medida por meio de instrumentos. A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o **ampère**, que é representado pelo símbolo **A**.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade da corrente elétrica tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação. Veja tabela a seguir.

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR COM RELAÇÃO AO AMPÈRE
Múltiplo	Quiloampère	KA	10^3 A ou 1000 A
Unidade	Ampère	A	-
Submúltiplos	Miliampère	mA	10^{-3} A ou 0,001 A
	Microampère	μ A	10^{-6} A ou 0,000001 A
	Nanoampère	nA	10^{-9} A ou 0,000000001 A

Tabela 3.1

Observação: No campo da eletrônica empregam-se mais os termos ampère (A), miliampère (mA) e o microampère (μ A).

Amperímetro

Para medir a intensidade de corrente, usa-se o amperímetro. Além do amperímetro, usam-se também os instrumentos a seguir:

- miliamperímetro: para correntes da ordem de miliampères;
- microamperímetro: para correntes da ordem de microampères;

Corrente Contínua

A corrente elétrica é o movimento de cargas elétricas. Nos materiais sólidos, as cargas que se movimentam são os elétrons; nos líquidos e gases o movimento pode ser de elétrons ou íons positivos.

Quando o movimento de cargas elétricas formadas por íons ou elétrons ocorre sempre em um sentido, a corrente elétrica é chamada de corrente contínua e é representada pela sigla CC.

4. CIRCUITOS ELÉTRICOS E RESISTÊNCIA ELÉTRICA

4.1 MATERIAIS CONDUTORES

Os materiais condutores caracterizam-se por permitirem a existência de corrente elétrica toda a vez que se aplica uma ddp entre suas extremidades. Eles são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos.

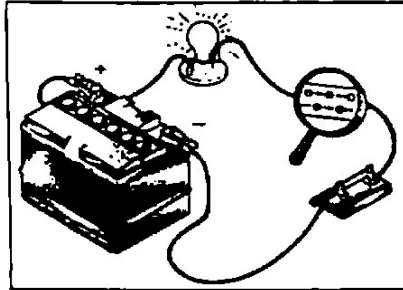


Figura 4.1

Corrente Elétrica

O que faz um material sólido ser condutor de eletricidade é a intensidade de atração entre o núcleo e os elétrons livres. Assim, quanto **menor** for a atração, **maior** será sua capacidade de deixar fur a corrente elétrica.

Os metais são excelentes condutores de corrente elétrica, porque os elétrons da última camada da eletrosfera (elétrons de valência) estão **fracamente** ligados ao núcleo do átomo. Por causa disso, desprendem-se com facilidade o que permite seu movimento ordenado.

Vamos tomar como exemplo a estrutura atômica do cobre. Cada átomo de cobre tem 29 elétrons; desses apenas um encontra-se na última camada. Esse elétron desprende-se do núcleo do átomo e vaga livremente no interior do material.

A intensa mobilidade ou liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre faz dele um material de grande condutividade elétrica. Assim, os bons condutores são também materiais com baixa resistência elétrica. O quadro a seguir mostra, em ordem crescente, a resistência elétrica de alguns materiais condutores.

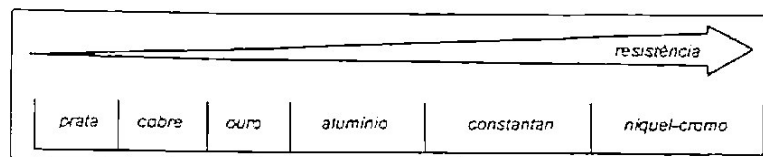


Figura 4.2

Depois da prata, o cobre é considerado o melhor condutor elétrico. Ele é o metal mais usado na fabricação de condutores para instalações elétricas.

4.2 MATERIAIS ISOLANTES

Materiais isolantes são os que apresentam forte oposição à circulação de corrente elétrica no interior de sua estrutura. Isso acontece porque os elétrons livres dos átomos que compõem a estrutura química dos materiais isolantes são fortemente ligados a seus núcleos e dificilmente são liberados para a circulação.

A estrutura atômica dos materiais isolantes compõem-se de átomos com cinco ou mais elétrons na última camada energética.

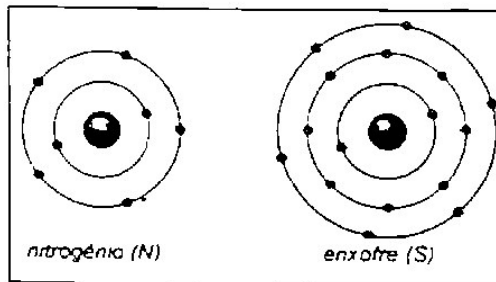


Figura 4.3

4.3 CIRCUITO ELÉTRICO

O circuito é o caminho fechado por onde circula a corrente elétrica. Dependendo do efeito desejado, o circuito elétrico pode fazer a eletricidade assumir as mais diversas formas: luz, som, calor, movimento.

O circuito elétrico mais simples que se pode montar constitui-se de três componentes:

- fonte geradora;
- carga;
- condutores.

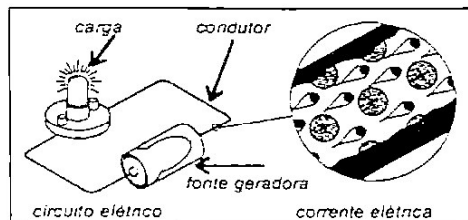


Figura 4.4

Todo o circuito elétrico necessita de uma fonte geradora. A fonte geradora fornece a tensão necessária à existência de corrente elétrica. A bateria, a pilha e o alternador são exemplos de fontes geradoras.

A carga é também chamada de consumidor ou receptor de energia elétrica. É o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia. Essa energia pode ser mecânica, luminosa, térmica, sonora.

Os condutores são o elo de ligação entre a fonte geradora e a carga. Servem de meio de transporte da corrente elétrica.

Além da fonte geradora, do consumidor e condutor, o circuito elétrico possui um componente adicional chamado de interruptor ou chave. A função desse componente é comandar o funcionamento dos circuitos elétricos. Quando aberto ou desligado, o interruptor provoca uma abertura em um dos condutores.

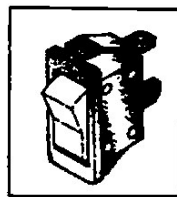


Figura 4.5

Nesta condição, o circuito elétrico não corresponde a um caminho fechado, porque um dos pólos da pilha (positivo) está desconectado do circuito, e não há circulação da corrente elétrica.

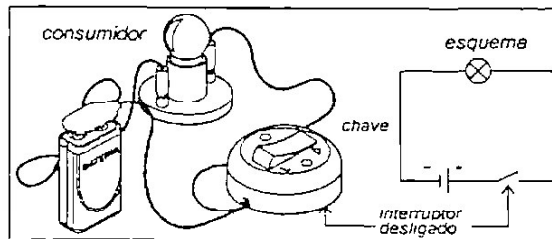


Figura 4.6

Sentido da Corrente Elétrica

Antes que se compreendesse de forma mais científica a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para iluminação, motores e outras aplicações. Nessa época, foi estabelecido por convenção, que a corrente elétrica se constituía de um movimento de cargas elétricas que fluía do pólo positivo para o pólo negativo da fonte geradora. Este sentido de circulação (do + para o -) foi denominado de **sentido convencional da corrente**.

Com o progresso dos recursos científicos usados explicar os fenômenos elétricos, foi possível verificar mais tarde, que nos condutores sólidos a corrente elétrica se constitui de elétrons em movimento do pólo negativo para o pólo positivo. Este sentido de circulação foi denominado de **sentido eletrônico da corrente**.

4.3 CIRCUITO ELÉTRICO

O tipo de circuito elétrico é determinado pela maneira como seus componentes são ligados. Assim, existem três tipos de circuitos:

- série;
- paralelo;
- misto.

4.3.1 SÉRIE

Circuito série é aquele cujos componentes (cargas) são ligados um após o outro. Desse modo, existe um único caminho para a corrente elétrica que sai do pólo positivo da fonte, passa através do primeiro componente (R_1), passa pelo seguinte (R_2) e assim por diante até chegar ao pólo negativo da fonte.

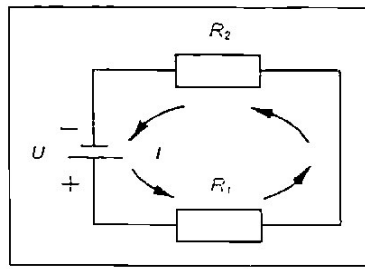


Figura 4.7 - Representação esquemática do circuito série

Num circuito série, o valor da corrente é sempre o mesmo em qualquer ponto do circuito. Isso acontece porque a corrente elétrica tem apenas um único caminho para percorrer.

4.3.2 PARALELO

O circuito paralelo é aquele cujos componentes estão ligados em paralelo entre si.

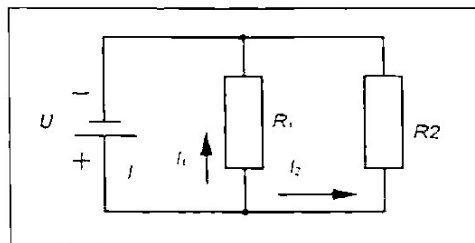


Figura 4.8 – Representação esquemática do circuito paralelo

No circuito paralelo, a corrente é diferente em cada ponto do circuito porque ela depende da resistência de cada ramo à passagem da corrente elétrica e da tensão aplicada sobre ele. Todos os componentes ligados em paralelo recebem a mesma tensão.

4.3.3 MISTO

No circuito misto, os componentes são ligados em série e em paralelo.

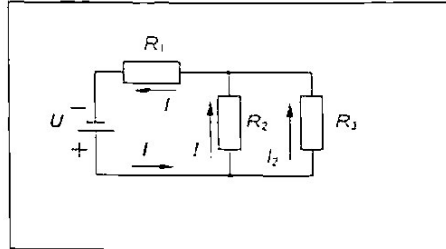


Figura 4.9 – Representação esquemática do circuito misto

No circuito misto, o componente R_1 ligado em série, ao ser atravessado por uma corrente, causa uma queda de tensão porque é uma resistência. Assim sendo, os resistores R_2 e R_3 que estão ligados em paralelo, receberão a tensão da rede menos a queda de tensão provocada por R_1 .

4.4 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Resistência elétrica é a posição que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam certa oposição à passagem da corrente elétrica.

A resistência dos materiais à passagem da corrente elétrica tem origem na sua estrutura atômica.

Um componente especificamente designado para possuir resistência elétrica é chamado de resistor.

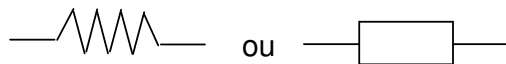


Figura 4.10 – Símbolo do resistor

O efeito causado pela resistência elétrica tem muitas aplicações práticas em eletricidade e eletrônica. Ele pode gerar, por exemplo, o aquecimento no chuveiro, no ferro de passar, no ferro de soldar, no secador de cabelo. Pode gerar também iluminação por meio das lâmpadas incandescentes.

Unidade de Medida de Resistência Elétrica

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, representando pela letra grega Ω (lê-se ômega). A tabela a seguir mostra os múltiplos do ohm, que são os valores usados na prática.

DENOMINAÇÃO		SÍMBOLO	VALOR EM RELAÇÃO À UNIDADE
Múltiplo	megohm	MΩ	$10^6 \Omega$ ou 1000000Ω
	quilohm	kΩ	$10^3 \Omega$ ou 1000Ω
Unidade	ohm	Ω	-

Tabela 4.1

Segunda Lei de Ohm

George Simon Ohm foi um cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista dos elementos que tem influência sobre ela. Por esse estudo, ele concluiu que a resistência elétrica de um condutor depende fundamentalmente de quatro fatores a saber:

1. material do qual o condutor é feito;
2. comprimento (L) do condutor;
3. área de sua seção transversal (S);
4. temperatura no condutor.

Resistividade Elétrica

Resistividade elétrica é a resistência elétrica específica de um certo condutor com 1 metro de comprimento, 1mm^2 de área de seção transversal, medida em temperatura ambiente constante de 20°C.

A unidade de medida de resistividade é o $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$, representada pela letra grega ρ (lê-se “rô”).

A tabela a seguir apresenta alguns materiais com seu respectivo valor de resistividade.

MATERIAL	P ($\Omega \text{ MM}^2 / \text{M}$) A 20° C
Alumínio	0,0278
Cobre	0,0173
Estanho	0,1195
Ferro	0,1221
Níquel	0,0780
Zinco	0,0615
Chumbo	0,21
Prata	0,0164

Tabela 4.2

George Simon OHM estabeleceu a sua segunda lei que diz que:

“ A resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao produto da resistividade específica pelo seu comprimento, e inversamente proporcional à sua área de seção transversal.”

Matematicamente, essa lei é representada pela seguinte equação:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Nela, **R** é a resistência elétrica expressa em Ω ; **L** é o comprimento do condutor em metros (m); **S** é a área de seção transversal do condutor em milímetros quadrados (mm^2) e ρ é a resistividade elétrica do material em $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$.

Influência da Temperatura Sobre a Resistência

Como já foi visto, a resistência elétrica de um condutor depende do tipo de material de que ele é constituído e da mobilidade das partículas em seu interior.

Na maior parte dos materiais, o aumento da temperatura significa maior resistência elétrica. Isso acontece porque o aumento da temperatura, há um aumento da agitação das partículas que constituem o material, aumentando as colisões entre as partículas e os elétrons livres no interior do condutor.

Isso é particularmente verdadeiro no caso dos metais e suas ligas. Neste caso, é necessário um grande aumento na temperatura para que se possa notar uma pequena variação na resistência elétrica. É por esse motivo que eles são usados na fabricação de resistores.

Conclui-se então que, num condutor, a variação na resistência elétrica relacionada ao aumento de temperatura, depende diretamente da variação de resistividade elétrica própria do material com o qual o condutor é fabricado.

Assim, uma vez conhecida a resistividade do material do condutor em uma determinada temperatura. Matematicamente faz-se isso por meio da expressão:

$$\rho_f = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Nessa expressão, ρ_f é a resistividade na temperatura final em $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$; ρ_0 é a resistividade do material na temperatura inicial (geralmente 20°C) em $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$; α é o coeficiente de temperatura do material (dado de tabela) e $\Delta\theta$ é a variação de temperatura, ou seja, temperatura final – temperatura inicial, em $^\circ\text{C}$.

A tabela a seguir mostra os valores de coeficiente de temperatura dos materiais que correspondem à variação da resistência elétrica que o condutor do referido material com resistência de 1Ω sofre quando a temperatura varia de 1°C .

MATERIAL	COEFICIENTE DE TEMPERATURA α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Cobre	0,0039
Alumínio	0,0032
Tungstênio	0,0045
Ferro	0,005
Prata	0,004
Platina	0,003
Nicromo	0,0002
Constantan	0,00001

Tabela 4.3

Como exemplo, vamos determinar a resistividade do cobre na temperatura de 50°C , sabendo-se que à temperatura de 20°C , sua resistividade corresponde a $0,0173 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

$$\rho_0 = 0,0173$$

$$\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1}) = 0,0039 \cdot (50 - 20)$$

$$\rho_f = ?$$

Como $\rho_f = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$, então:

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot (50 - 20))$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 30)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot (1 + 0,117)$$

$$\rho_f = 0,0173 \cdot 1,117$$

$$\rho_f = 0,0193 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

5. ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS E LEI DE OHM

Associação de resistências é uma reunião de duas ou mais resistências em um circuito elétrico, considerando-se resistência como qualquer dificuldade à passagem da corrente elétrica.

Na associação de resistências é preciso considerar duas coisas: os terminais e os nós. **Terminais** são os pontos da associação conectados à fonte geradora. **Nós** são os pontos em que ocorre a interligação de três ou mais resistências.

5.1 TIPOS DE ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS

As resistências podem ser associadas de modo a formar diferentes circuitos elétricos, conforme mostram as figuras a seguir:

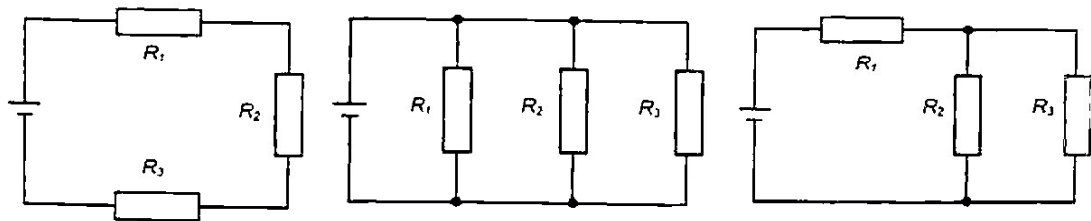


Figura 5.1

Observação: A porção do circuito que liga dois nós consecutivos é chamada de ramo ou braço.

Apesar do número de associações diferentes que se pode obter interligando resistências em um circuito elétrico, todas essas associações classificam-se a partir de três designações básicas:

- associação em série;
- associação em paralelo;
- associação mista.

Cada um desses tipos de associação apresenta características específicas de comportamento elétrico.

Associação em Série

Nesse tipo de associação, as resistências são interligadas de forma que exista apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica entre os terminais.

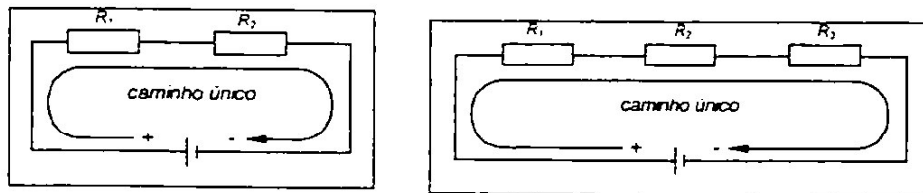


Figura 5.2

Associação em Paralelo

Trata-se de uma associação em que os terminais das resistências estão interligados de forma que exista mais de um caminho para a circulação da corrente elétrica.

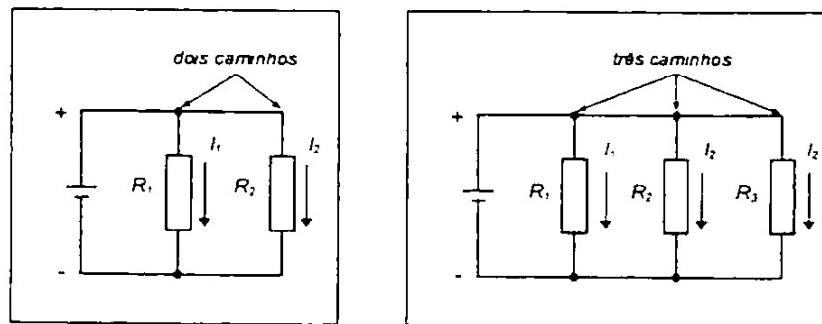


Figura 5.3

Associação Mista

É a associação que se compõe por grupos de resistências em série e em paralelo.

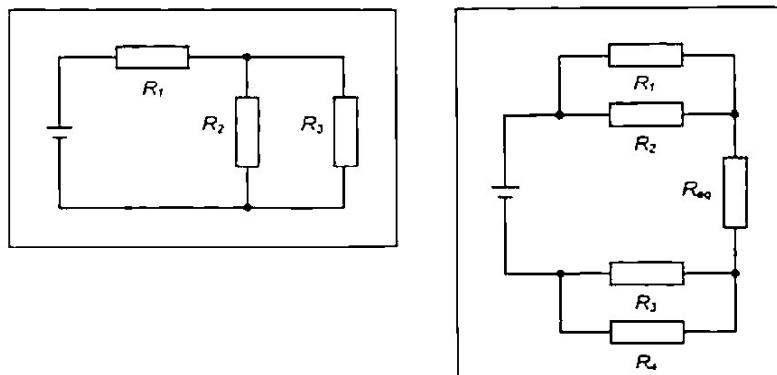


Figura 5.4

5.2 RESISTÊNCIAS EQUIVALENTES

Resistência Equivalente de uma Associação Série

Quando se associam resistências, a resistência elétrica entre os terminais é diferente das resistências individuais. Por essa razão, a resistência de uma associação de resistências recebe uma denominação específica: resistência total ou resistência equivalente (R_{eq}).

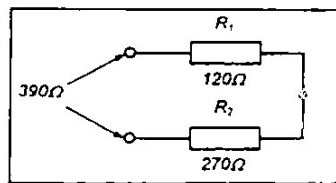
Matematicamente, obtém-se a resistência equivalente da associação em série pela seguinte fórmula:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Convenção

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ são os valores ôhmicos das resistências associadas em série.

Vamos tomar como exemplo de associação em série uma resistência de 120Ω e outra de 270Ω . Nesse caso, a resistência equivalente entre os terminais é obtida da seguinte forma:



$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R_2 \\ R_{eq} &= 120\Omega + 270\Omega \\ R_{eq} &= 390\Omega \end{aligned}$$

O valor da resistência equivalente de uma associação de resistências em série é sempre maior que a resistência de maior valor da associação.

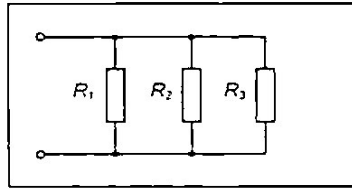
Resistência Equivalente de uma Associação em Paralelo

Na associação em paralelo há dois ou mais caminhos para a circulação da corrente elétrica. A resistência equivalente de uma associação em paralelo de resistências é dada pela equação:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Convenção

$R_1, R_2, \dots, R_n$ são os valores ôhmicos das resistências associadas. Vamos tomar como exemplo a associação em paralelo a seguir.



$$R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = 25\Omega$$

$$R_3 = 20\Omega$$

Para obter a resistência equivalente, basta aplicar a equação mostrada anteriormente, ou seja:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Desse modo temos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,1 + 0,04 + 0,05} = \frac{1}{0,19} = 5,26$$

$$\mathbf{R_{eq} = 5,26\Omega}$$

O resultado encontrado comprova que a resistência equivalente da associação em paralelo (5,26Ω) é menor que a resistência de menor valor (10Ω).

Para associações em paralelo com apenas duas resistências, pode-se usar uma equação mais simples, deduzida da equação geral.

Tomando-se a equação geral, com apenas duas resistências, temos:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

Invertendo ambos os membros, obtém-se:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Colocando o denominador comum no segundo membro, temos:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2}$$

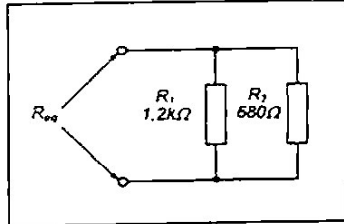
Invertendo os dois membros, obtemos:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2$$

Portanto, R_1 e R_2 são os valores ôhmicos das resistências associadas.

Observe no circuito abaixo um exemplo de associação em paralelo em que se emprega a fórmula para duas resistências.



$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1200 \times 680}{1200 + 680} = \frac{816000}{1880} = 434\Omega$$

$$R_{eq} = 434\Omega$$

Resistência Equivalente de uma Associação Mista

Para determinar a resistência equivalente de uma associação mista, procede-se da seguinte maneira:

1. A partir dos nós, divide-se a associação em pequenas partes de forma que possam ser calculadas como associações em série ou em paralelo.

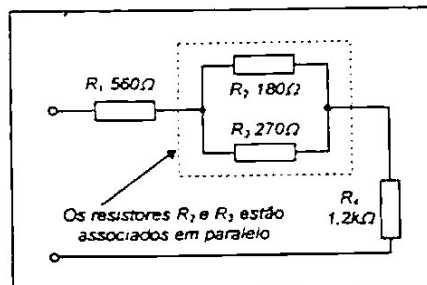


Figura 5.5

2. Uma vez identificados os nós, procura-se analisar como estão ligados as resistências entre cada dois nós do circuito. Nesse caso, as resistências R_2 e R_3 estão em paralelo.
3. Desconsidera-se, então, tudo o que está antes e depois desses nós e examina-se a forma com R_2 e R_3 estão associadas para verificar se se trata de uma associação em paralelo de duas resistências.

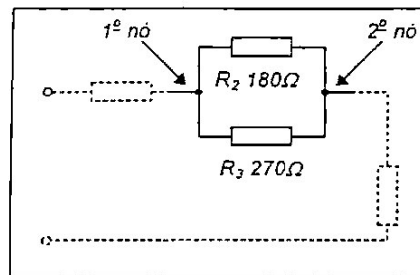


Figura 5.6

4. Determine-se então a Req dessas duas resistências associadas em paralelo, aplicando-se a fórmula a seguir.

$$R_{eq} = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{180 \times 270}{180 + 270} = \frac{48600}{450} = 108\Omega$$

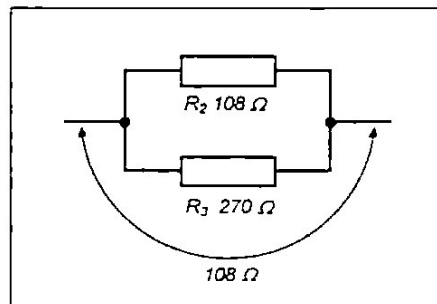


Figura 5.7

Portanto, as resistências associadas R_2 e R_3 apresentam 108Ω de resistência à passagem da corrente no circuito.

Se as resistências R_2 e R_3 em paralelo forem substituídos por uma resistência de 108Ω , identificada por exemplo por R_A , o circuito não se altera.

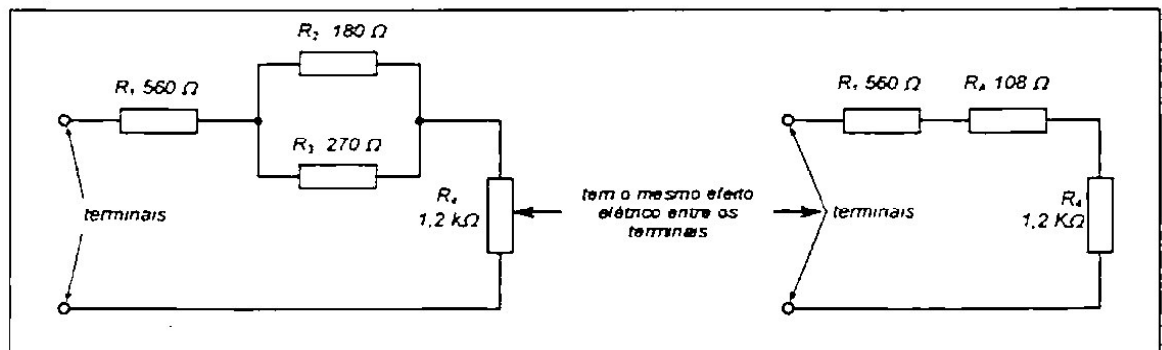


Figura 5.8

Ao substituir a associação mista original, torna-se uma associação em série simples, constituída pelas resistências R_1 , R_A e R_4 .

Determina-se a resistência equivalente de toda a associação pela equação da associação em série: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Usando os valores do circuito, obtém-se:

$$R_{eq} = R_1 + R_A + R_4$$

$$R_{eq} = 560 + 108 + 1200 = 1868 \, \Omega$$

O resultado significa que toda a associação mista original tem o mesmo efeito para a corrente elétrica que uma única resistência de 1868 Ω .

Lei de Ohm

Determinação Experimental da Primeira Lei de Ohm

A lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão (V), corrente (I) e resistência (R) em um circuito.

Transformando esta afirmação em equação matemática, tem-se a Lei de Ohm :

$$I = \frac{V}{R}$$

Com base nessa equação, enuncia-se a Lei de Ohm:

“A intensidade da corrente elétrica em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à sua resistência.”

Para determinar um valor desconhecido, a partir da fórmula básica, usa-se as operações matemáticas e isola-se o termo procurado.

Fórmula básica:

$$I = \frac{V}{R}$$

Fórmulas derivadas :

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{e} \quad V = R \cdot I$$

Para que as equações decorrentes da Lei de Ohm sejam utilizadas, os valores das grandezas elétricas devem ser expressos nas unidades fundamentais :

- volt (V) $\Rightarrow$ tensão
- ampère (A) $\Rightarrow$ corrente
- ohm (Ω) $\Rightarrow$ resistência

6. LEIS DE KIRCHHOFF

6.1 PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF

A primeira Lei de Kirchhoff, também chamada de Lei das Correntes de Kirchhoff (LCK) ou Lei dos Nós, refere-se à forma como a corrente se distribui nos circuitos em paralelo.

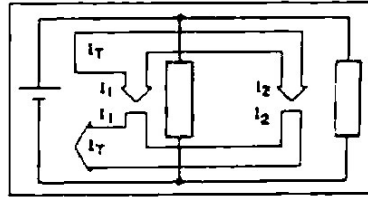


Figura 6.1

A partir da primeira Lei de Kirchhoff e da Lei de Ohm, podemos determinar a corrente em cada um dos componentes associados em paralelo. Para compreender essa primeira lei, precisamos conhecer algumas características do circuito em paralelo.

Características do Circuito em Paralelo

O circuito em paralelo apresenta três características fundamentais:

- fornece mais de um caminho à circulação da corrente elétrica;
- a tensão em todos os componentes associados é a mesma;
- as cargas são independentes.

Estas características são importantes para a compreensão das leis de Kirchhoff. Podem ser constatadas tomando como ponto de partida o circuito abaixo.

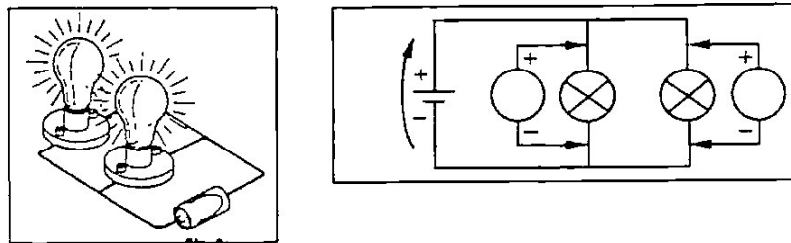


Figura 6.2

Observe que tanto a primeira como a segunda lâmpada têm um dos terminais ligado diretamente ao pólo positivo e o outro, ao pólo negativo. Dessa forma, cada lâmpada conecta-se diretamente à pilha e recebe 1,5 Vcc nos seus terminais.

As Correntes na Associação em Paralelo

A função da fonte de alimentação nos circuitos é fornecer aos consumidores a corrente necessária para o funcionamento.

Quando um circuito possui apenas uma fonte de alimentação, a corrente fornecida por essa fonte chama-se corrente total. Nos esquemas é representada pela notação I_T .

Em relação à fonte de alimentação não importa que os consumidores sejam lâmpadas, resistores ou aquecedores. O que importa é a tensão e a resistência total dos consumidores que determinam a corrente total (I_T) fornecida por essa mesma fonte.

A corrente total é dada pela divisão entre tensão total e resistência total. Matematicamente, a corrente total é obtida por :

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

Observação: Chega-se a esse resultado aplicando a Lei de ohm ao circuito

$$I = \frac{V}{R}$$

No exemplo a seguir, a corrente total depende da tensão de alimentação (1,5 V) e da resistência total das lâmpadas (L_1 e L_2 em paralelo).

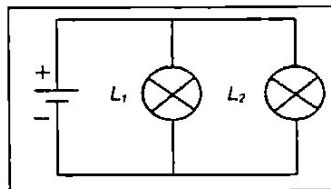


Figura 6.3

$$R_T = \frac{R_{L1} \cdot R_{L2}}{R_{L1} + R_{L2}} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = \frac{60000}{500} = 120\Omega$$

Portanto, a corrente total será :

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{1,5}{120} = 0,0125 \text{ A ou } 12,5\text{mA}$$

Este valor de corrente circula em toda a parte do circuito que é comum às duas lâmpadas.

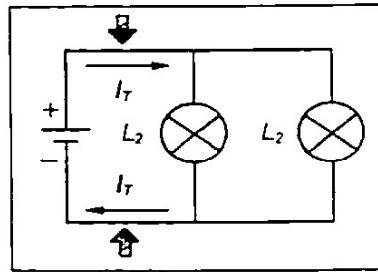


Figura 6.4

A partir do nó (no terminal positivo da pilha), a corrente total (I_T) divide-se em duas partes.

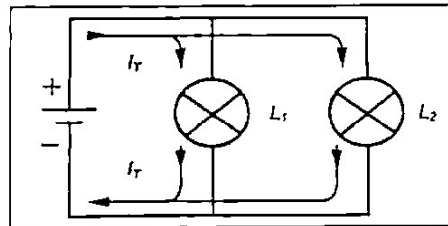


Figura 6.5

Essas correntes são chamadas de correntes parciais e podem ser denominadas I_1 (para a lâmpada 1) e I_2 (para a lâmpada 2).

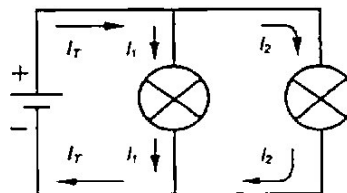


Figura 6.7

A forma como a corrente I_T se divide a partir do nó depende unicamente da resistência das lâmpadas. Assim, a lâmpada de menor resistência permitirá a passagem de maior parcela da corrente I_T .

Portanto, a corrente I_1 na lâmpada 1 (de menor resistência) será maior que a corrente I_2 na lâmpada 2.

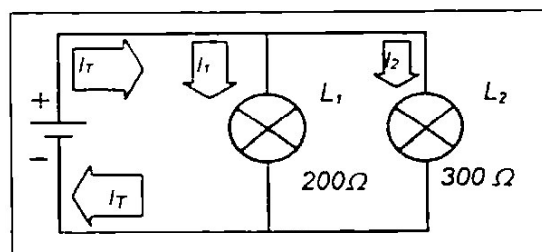


Figura 6.8 – $I_1 > I_2$

Pode-se calcular o valor da corrente que circula em cada ramal a partir da Lei de Ohm. Para isso basta conhecer a tensão aplicada e a resistência de cada lâmpada.

Desse modo, temos :

Lâmpada 1

$$I_1 = \frac{V_{L1}}{R_{L1}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ A ou } 7,5 \text{ mA}$$

Lâmpada 2

$$I_2 = \frac{V_{L2}}{R_{L2}} = \frac{1,5}{300} = 0,005 \text{ A , ou seja, } 5 \text{ mA}$$

Com essas noções sobre o circuito em paralelo, podemos compreender melhor a Primeira Lei de Kirchhoff que diz :

“A soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem.”

Matematicamente, isso resulta na seguinte equação:

$$I_T = I_1 + I_2$$

A partir desse enunciado, é possível determinar um valor de corrente desconhecida, bastando para isso que se disponha dos demais valores de corrente que chegam ou saem de um nó.

Demonstração da 1ª Lei de Kirchhoff

Para demonstrar essa 1ª Lei de Kirchhoff, vamos observar os valores já calculados do circuito em paralelo mostrado a seguir.

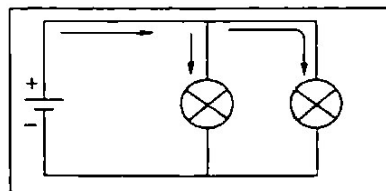
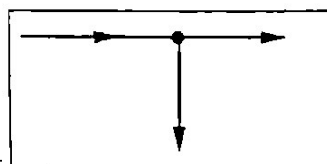


Figura 6.9

Vamos considerar o nó superior : neste caso, temos o que mostra a figura a seguir.



Operador de Usina

Figura 6.10

6.2 SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

A 2ª Lei de Kirchhoff, também conhecida como Lei das Malhas ou Lei das Tensões de Kirchhoff (LTK), refere-se à forma como a tensão se distribui nos circuitos em série.

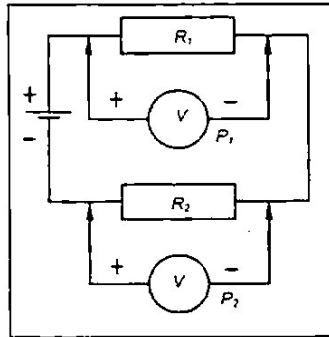


Figura 6.11

Por isso, para compreender essa lei, é preciso conhecer antes algumas características do circuito em série.

Características do Circuito em Série

O circuito em série apresenta três características importantes :

1. fornece apenas um caminho para a circulação da corrente elétrica;
2. a intensidade da corrente é a mesma ao longo de todo o circuito em série;
3. o funcionamento de qualquer um dos consumidores depende do funcionamento dos consumidores restantes.

Corrente na Associação em Série

Pode-se determinar a corrente de igual valor ao longo de todo o circuito em série, com o auxílio da lei de Ohm. Nesse caso, deve-se usar a tensão nos terminais da associação; e a sua resistência total será :

$$I = \frac{V_T}{R_T}$$

Tensões no Circuito em Série

Como os dois terminais não estão ligados diretamente à fonte, a tensão nos componentes de um circuito em série difere da tensão da fonte de alimentação.

O valor de tensão em cada um dos componentes é sempre menor que a tensão de alimentação. A parcela de tensão que fica sobre cada componente do circuito

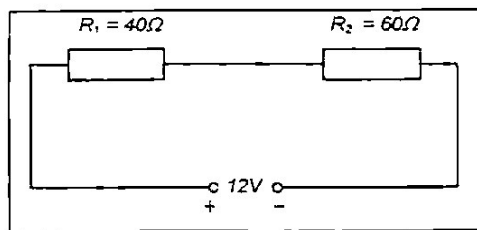
denomina-se queda de tensão no componente. A queda de tensão é representada pela notação V .

Determinação da Queda de Tensão

A queda de tensão em cada componente da associação em série pode ser determinada pela Lei de Ohm. Para isso é necessário dispor-se tanto da corrente no circuito como dos seus valores de resistência.

$$V = R \cdot I \begin{cases} \rightarrow V_{R1} = I \cdot R_1 \\ \rightarrow V_{R2} = I \cdot R_2 \\ \rightarrow V_{Rn} = I \cdot R_n \end{cases}$$

Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura abaixo.



$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{12}{100} = 0,12A$$

$$V = R \cdot I \begin{cases} \rightarrow \text{queda de } V \text{ em } R_1: V_{R1} = I \cdot R_1 = 0,12 \cdot 40 = 4,8V \\ \rightarrow \text{queda de } V \text{ em } R_2: V_{R2} = I \cdot R_2 = 0,12 \cdot 60 = 7,2V \end{cases}$$

Observando os valores de resistência e a queda de tensão, notamos que:

- O resistor de maior valor fica com uma parcela maior de tensão;
- O resistor de menor valor fica com a menor parcela de tensão.

Pode-se dizer que, em um circuito em série, a queda de tensão é proporcional ao valor do resistor, ou seja:

maior valor → maior queda de tensão

menor valor → menor queda de tensão

Com essas noções sobre o circuito em série, fica mais fácil entender a 2ª Lei de Kirchhoff que diz que :

“A soma das quedas de tensão nos componentes de uma associação em série é igual à tensão aplicada nos seus terminais extremos.”

Chega-se a essa lei tomando-se como referência os valores de tensão nos resistores do circuito determinado anteriormente e somando as quedas de tensão

nos dois resistores ($V_{R1} + V_{R2}$). Disso resulta : $4,8V + 7,2V = 12V$, que é a tensão de alimentação.

7. POTÊNCIA ELÉTRICA EM CC

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento. Esses efeitos são denominados de trabalho.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia, é realizado pelo consumidor ou pela carga. Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um trabalho elétrico.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada. Luz; um ventilador, movimento. A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica, representada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{t}{t}$$

sendo **P** a potência;
t (lê-se “tal”) o trabalho e
t o tempo.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer sua potência.

Potência Elétrica

Analisando um tipo de carga como as lâmpadas, por exemplo, vemos que nem todas produzem a mesma quantidade de luz. Umas produzem grandes quantidades de luz e outras, pequenas quantidades.

Então, potência elétrica é a capacidade de realizar um trabalho numa unidade de tempo, a partir da energia elétrica.

Unidade de Medida da Potência Elétrica

A potência elétrica é uma grandeza e, como tal, pode ser medida. A unidade de medida da potência elétrica é o **watt**, simbolizado pela letra **W**.

Um watt (1W) corresponde à potência desenvolvida no tempo de um segundo em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, na qual circula uma corrente de 1A.

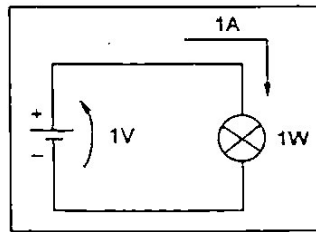


Figura 7.1

7.1 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE UM CONSUMIDOR EM CC

A potência elétrica (P) de um consumidor depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula: $P = V \cdot I$.

Nessa fórmula V é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em volts (V); I é a corrente circulante no consumidor, expressa em ampères (A) e P é a potência dissipada expressa em watts (W).

Exemplo

Uma lâmpada de lanterna de 6 V solicita uma corrente de 0,5 das pilhas. Qual a potência da lâmpada? Formulando a questão, temos:

$V = 6V \Rightarrow$ tensão nos terminais da lâmpada

$I = 0,5A \Rightarrow$ corrente através da lâmpada

$P = ?$

Como $P = V \cdot I \Rightarrow P = 6 \cdot 0,5 = 3W$

Portanto, $P = 3W$

Muitas vezes é preciso calcular a potência de um componente e não se dispõe da tensão e da corrente. Quando não se dispõe da tensão (V) não é possível calcular a potência pela equação $P = V \cdot I$. Esta dificuldade pode ser solucionada com auxílio da Lei de Ohm.

Para facilitar a análise, denomina-se a fórmula da Primeira Lei de Ohm: $V = R \cdot I$, da equação I e a fórmula da potência, ou seja, $P = V \cdot I$, de equação II. Em seguida, substitui-se V da equação II pela definição de V da equação I.

$$V = R \cdot I \rightarrow \text{equação I}$$

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

Assim sendo, pode-se dizer que $P = R \cdot I \cdot I$, ou $P = R \cdot I^2$

Esta equação pode ser usada para determinar a potência de um componente. É conhecida como equação da potência por **efeito joule**.

Observação: *Efeito Joule é o efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência.*

Pode-se realizar o mesmo tipo de dedução para obter uma equação que permite determinar a potência a partir da tensão e resistência. Assim, pela lei de Ohm, temos:

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \text{equação I}$$

$$P = V \cdot I \rightarrow \text{equação II}$$

Fazendo a substituição, obtém-se:

$$P = V \cdot \frac{V}{R}$$

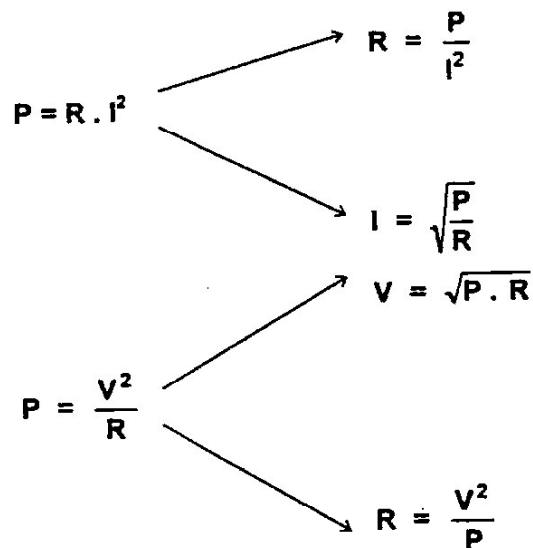
Que pode ser escrita da seguinte maneira:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

A partir das equações básicas, é possível obter outras por meio de operações matemáticas.

FÓRMULAS BÁSICAS

FÓRMULAS DERIVADAS



7.2 POTÊNCIA NOMINAL

Certos aparelhos como chuveiros, lâmpadas e motores têm uma característica particular. Seu funcionamento obedece a uma tensão previamente estabelecida. Assim, existem chuveiros para 110V ou 220V; lâmpadas para 6V, 12V, 110V, 220V e outras tensões; motores, para 110V, 220V, 380V, 760V e outras.

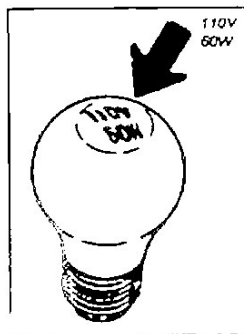


Figura 7.2

Esta tensão, para a qual estes consumidores são fabricados, chama-se tensão nominal de funcionamento. Por isso, os consumidores que apresentam tais características devem sempre ser ligados na tensão correta (nominal), normalmente especificada no seu corpo.

Quando esses aparelhos são ligados corretamente, a quantidade de calor, luz ou movimento produzida é exatamente aquela para a qual foram projetados. Por exemplo, uma lâmpada de 110V/60W ligada corretamente (em 110V) produz 60W entre luz e calor. A lâmpada, nesse caso, está dissipando a sua potência nominal. Portanto, potência nominal é a potência para qual um consumidor foi projetado. Enquanto uma lâmpada, aquecedor ou motor trabalha dissipando sua potência nominal, sua condição de funcionamento é ideal.

Limite de Dissipação de Potência

Há um grande número de componentes eletrônicos que se caracteriza por não ter uma tensão de funcionamento específica. Estes componentes podem funcionar com os mais diversos valores de tensão. É o caso dos resistores que não trazem nenhuma referência quanto à tensão nominal de funcionamento.

Entretanto, pode-se calcular qualquer potência dissipada por um resistor ligado a uma fonte geradora. Vamos tomar como exemplo o circuito apresentado na figura a seguir.

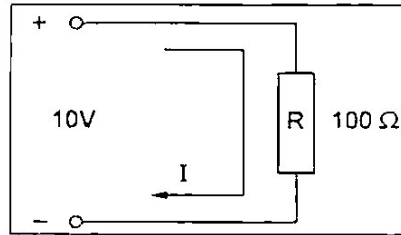


Figura 7.3

A potência dissipada é:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{10^2}{100} = \frac{100}{100} = 1$$

$$\Rightarrow P = 1W$$

Como o resistor não produz luz ou movimento, esta potência é dissipada em forma de calor que aquece o componente. Por isso é necessário verificar se a quantidade de calor produzida pelo resistor não é excessiva a ponto de danificá-lo

Desse modo podemos estabelecer a seguinte relação:

maior potência dissipada $\Rightarrow$ maior aquecimento
menor potência dissipada $\Rightarrow$ menor aquecimento

Portanto, se a dissipação de potência for limitada, a produção de calor também o será.

8. MEDIÇÕES E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÕES MEDIDAS ELÉTRICAS

8.1 VOLTÍMETRO

Possui alta resistência interna, podendo ser ligado paralelamente ao circuito. Se for ligado em série o que não é o objetivo, do instrumento, o circuito desligará e o voltímetro medirá a tensão da fonte.

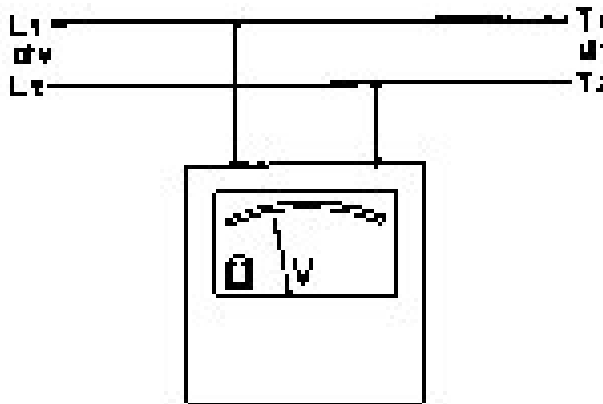


Figura 8.1

8.2 AMPERÍMETRO

Possui baixíssima resistência interna e não pode ser ligado paralelamente ao circuito, pois provocaria um curto circuito.

8.3 OHMÍMETRO

Só medir resistência em circuito desligado. O ohmímetro possui uma fonte interna que injetará uma pequena corrente no circuito e com o retorno da corrente resultante fará o monitoramento e medição do valor ôhmico da resistência.

8.4 MÚLTIMETRO

Um instrumento que através de chaves combina as funções do amperímetro, do voltímetro e do ohmímetro é chamado de multímetro. Como os multímetros são fabricados para aplicações gerais, eles possuem sistema de medição tanto para CA como CC.

8.5 WATTÍMETRO

No capítulo 7, potência, a taxa de trabalho realizado, é descrita matematicamente para um circuito CC como o produto entre tensão e corrente. Embora este método talvez seja preferível na medição de potências CC, a potência CC pode ser medida com um wattímetro, um instrumento de medição direta da potência.

Os wattímetros possuem um terminal de tensão e um terminal de corrente marcados com o símbolo $\pm$. Para uma deflexão crescente de escala, a corrente deve entrar em ambos os terminais marcados, ou sair de ambos os terminais marcados. Uma conexão correta de um wattímetro é mostrada na figura seguinte. A inversão nos terminais de corrente ou de tensão irá resultar em uma deflexão decrescente.

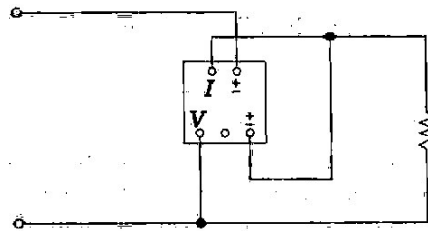


Figura 8.2 – Conexão do wattímetro para uma deflexão crescente (conexão a jusante)

Temos a seguir, uma tabela que resume os principais instrumentos de medida e suas características.

INSTRUMENTO	GRANDEZA	UNIDADE DE MEDIDA	MÉTODO DE INSERÇÃO DO INSTRUMENTO NO CIRCUITO
Voltímetro	Tensão	Volt (V)	Paralelo ao circuito
Amperímetro	Corrente	Ampère (A)	Em série com o circuito
Ohmímetro	Resistência	Ohms (Ω)	Em série com o circuito <u>desligado</u>

Tabela 8.1

Tais instrumentos estão disponíveis em um só instrumento, chamado multímetro.

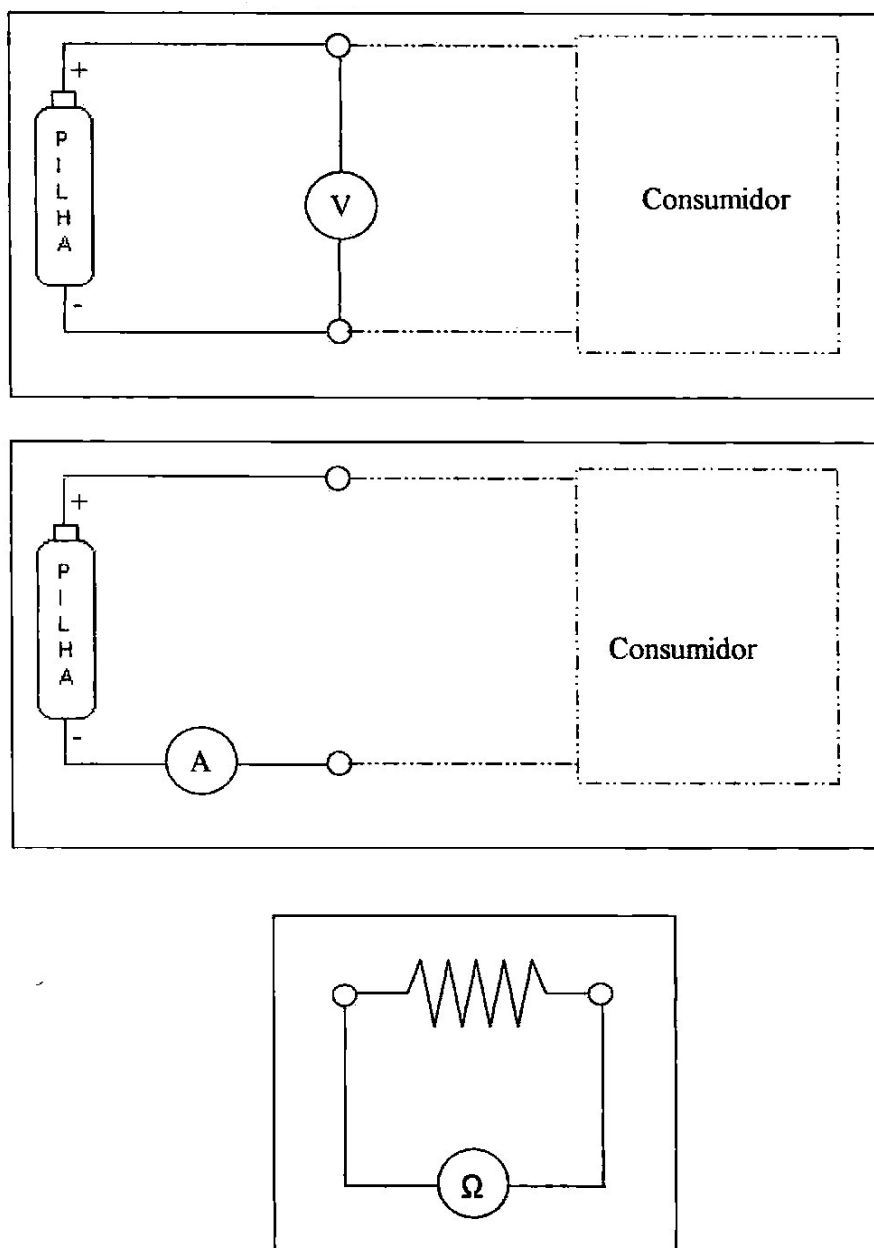


Figura 8.3

9. INTRODUÇÃO AO ELETROMAGNETISMO

9.1 MAGNETISMO

O magnetismo é uma propriedade que certos materiais têm de exercer uma atração sobre materiais ferrosos.

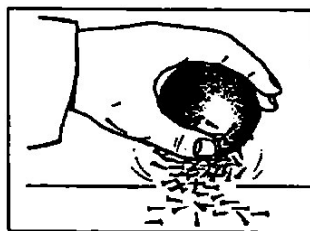


Figura 9.1

As propriedades dos corpos magnéticos são muito utilizadas em eletricidade, em motores e geradores, por exemplo, e em eletrônica, nos instrumentos de medição e na transmissão de sinais.

Ímãs

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados de **ímãs naturais**. Como exemplo de ímã natural, pode-se citar a magnética.

É possível também, obter um ímã de forma artificial. Os ímãs obtidos dessa maneira são denominados **ímãs artificiais**. Eles são compostos por barras de materiais ferrosos que o homem magnetiza por processos artificiais.

Os ímãs artificiais em geral têm propriedades magnéticas mais intensas que os naturais.

Pólos Magnéticos de um Ímã

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade nas suas extremidades. Por isso, as extremidades do ímã são denominadas de **pólos magnéticos**. Cada um dos pólos apresenta propriedades magnéticas específicas, eles são denominados de **pólo sul** e **pólo norte**.

Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos pólos, é possível concluir que a intensidade dessas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã, estabelece-se uma linha onde as forças de atração magnética do pólo sul e do pólo norte são iguais e se anulam. Essa linha é denominada de linha neutra. A linha neutra é, portanto, a linha divisória entre os pólos do ímã.

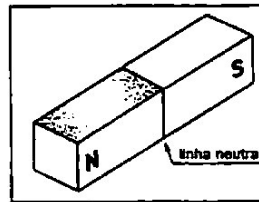


Figura 9.2

Origem do Magnetismo

O magnetismo origina-se na organização atômica dos materiais. Cada molécula de um material é um pequeno ímã natural, denominado de ímã molecular ou domínio.

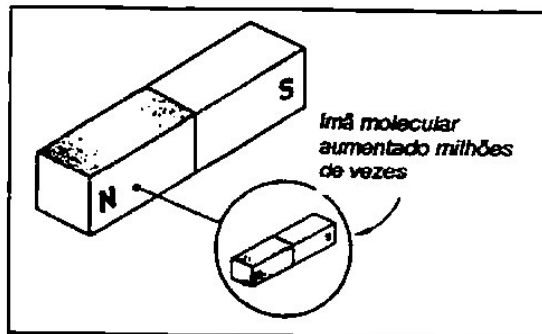


Figura 9.3

Quando, durante a formação de um material, as moléculas se orientam em sentidos diversos, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam, resultando em um material sem magnetismo natural.

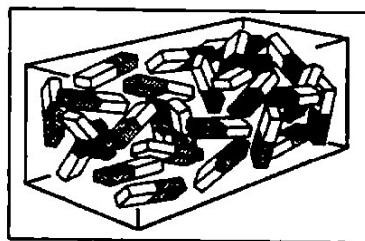


Figura 9.4

Se, durante a formação do material, as moléculas assumem uma orientação única ou predominante, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando origem a um ímã com prioridades magnéticas naturais.

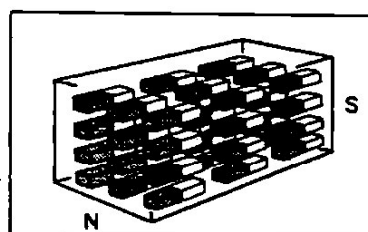


Figura 9.5

Observação: Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas desordenadas de um material sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

Inseparabilidade dos Pólos

Os ímãs têm uma prioridade características: por mais que se divida um ímã em partes menores, as partes sempre terão um pólo norte e um pólo sul.

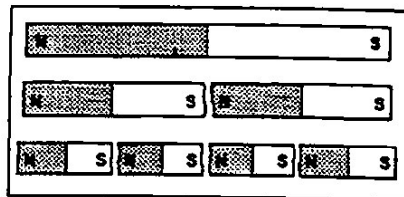


Figura 9.6 - Esta propriedade é denominada de inseparabilidade dos polos.

Interação entre Ímãs

Quando os polos magnéticos de dois ímãs estão próximos, as forças magnéticas dos dois ímãs reagem entre si de forma singular. Se dois polos magnéticos diferentes forem aproximados (norte de um, com sul de outro), haverá uma atração entre os dois ímãs.

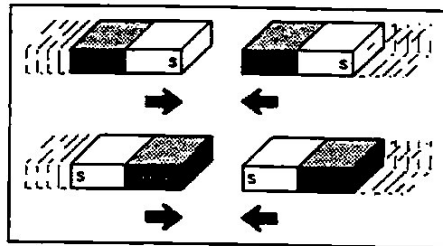


Figura 9.7

Se dois polos magnéticos iguais forem aproximados (por exemplo, norte de um próximo ao norte do outro), haverá uma repulsão entre os dois.

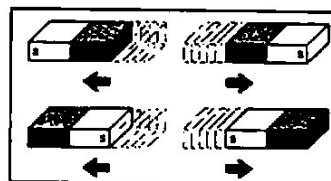


Figura 9.8

Campo Magnético – Linhas de Força

O espaço ao redor do ímã em que existe atuação das forças magnéticas é chamado de campo magnético. Os efeitos de atração ou repulsão entre dois ímãs, ou de atração de um ímã sobre os materiais ferrosos se devem à existência desse campo magnético.

Como artifício para estudar esse campo magnético, admite-se a existência de linhas de força magnética ao redor do ímã. Essas linhas são invisíveis, mas podem ser visualizadas com o auxílio de um recurso. Colocando-se um ímã sob uma lâmina de vidro, e espalhando limalha de ferro sobre essa lâmina, as limalhas se orientam conforme as linhas de força magnética.



Figura 9.9

O formato característicos das limalhas sobre o vidro, denominado de espectro magnético, é representado na ilustração a seguir.

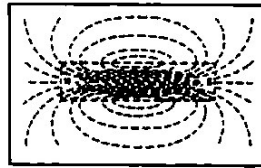


Figura 9.10

Com o objetivo de padronizar os estudos relativos ao magnetismo e às linhas de força, por convenção estabeleceu-se que as linhas de força de um campo magnético se dirigem do pólo norte para o pólo sul.

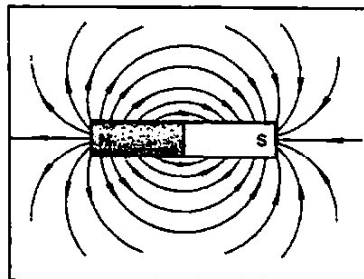


Figura 9.11

9.2 FLUXO DE INDUÇÃO MAGNÉTICA

Fluxo da indução magnética é a quantidade total de linhas de um ímã que constituem o campo magnético. É representado graficamente pela letra grega ϕ (lê-se “fi”).

O fluxo da indução magnética é uma grandeza e, como tal, pode ser medido. No SI (Sistema Internacional de Medidas), sua unidade de medida é o Weber (Wb). No sistema CGS de medidas, sua unidade é o maxwell (Mx).

Para transformar weber em maxwell, usa-se a seguinte relação: $1\text{Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$

Densidade de fluxo ou Indução Magnética

Densidade de fluxo ou indução magnética é o número de linhas por centímetro quadrado de seção do campo magnético em linhas/cm².

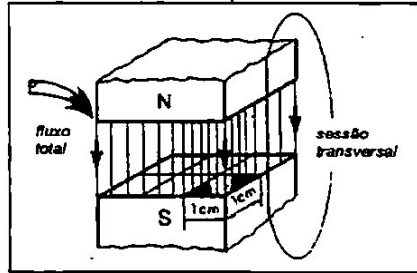


Figura 9.12

A densidade de fluxo ou indução magnética é representada graficamente pela letra maiúscula B e sua unidade de medida no sistema SI é o tesla (T) e no CGS é o Gauss (G).

Para transformar gauss em tesla, usa-se a seguinte relação: $1\text{G} = 10^{-4} \text{ T}$.

Conhecendo-se o valor da superfície (seção transversal A) em que estão concentradas as linhas de força e a densidade do fluxo magnético B, pode-se enunciar a fórmula do fluxo de indução magnética como o produto da densidade do fluxo B pela seção transversal A. Assim, matematicamente temos: $\phi = B \times A$

É possível classificar os materiais de acordo com a intensidade com que eles se imantam, isto é, modo como ordenam seus ímãs atômicos sob a ação de um campo magnético. Assim, esses materiais podem ser classificados em:

- Paramagnéticos;
- Diamagnéticos;
- Ferromagnéticos.

Experimentalmente, é possível verificar que certos materiais, quando colocados no interior de uma bobina (ou indutor) ligada em C.C; ou próximos de um ímã, têm seus átomos fracamente orientados no mesmo sentido do campo magnético. Esses materiais são denominados de **paramagnéticos**.

Materiais como o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, a platina, o estanho, o cromo e suas respectivas ligas são exemplos de materiais paramagnéticos. Eles são

caracterizados por possuírem átomos que têm um campo magnético **permanente**.

O ouro, a prata, o cobre, o zinco, o antimônio, o chumbo, o bismuto, a água, o mercúrio, ao serem introduzidos no interior de um indutor, ou próximos de um ímã, provocam a diminuição de seu campo magnético. Esses materiais são denominados de **diamagnéticos**.

Esses materiais caracterizam-se por possuírem átomos que não produzem um campo magnético permanente, ou seja, o campo resultante de cada átomo é nulo.

Aplicando-se um campo magnético a esses materiais, pequenas correntes são produzidas por indução no interior dos átomos. Essas correntes se opõem ao crescimento do campo externo, de modo que o magnetismo induzido nos átomos estará orientado em sentido oposto ao do campo externo.

Dentre os materiais paramagnéticos, o ferro, o aço, o cobalto, o níquel, e suas ligas constituem uma classe especial. Com efeito, alguns materiais provocam no indutor que os tem como núcleo, um aumento de indutância muito maior que o aumento provocado pelos demais materiais paramagnéticos. Esses materiais, são denominados de **ferromagnéticos**.

Esses materiais, por serem paramagnéticos, apresentam campo magnético permanente, pois os campos magnéticos de seus átomos estão alinhados de tal forma que produzem um campo magnético mesmo na ausência de um campo externo.

Os materiais ferromagnéticos, por serem um caso particular dentre os materiais paramagnéticos, apresentam a densidade do fluxo magnético B , presente no interior do indutor, maior do que quando há ar ou vácuo no seu interior.

9.3 ELETROMAGNETISMO

No capítulo anterior estudamos o magnetismo. Esse conhecimento é muito importante para quem precisa aprender eletromagnetismo, que por sua vez, é de fundamental importância para quem quer compreender o funcionamento de motores, geradores, transformadores.. .

Neste capítulo estudaremos o eletromagnetismo que explica os fenômenos magnéticos originados pela circulação da corrente elétrica em um condutor.

()

Eletromagnetismo

Eletromagnetismo é um fenômeno magnético provocado pela circulação de uma corrente elétrica. O termo eletromagnetismo aplica-se a todo fenômeno magnético que tenha origem em uma corrente elétrica.

Campo magnético em um condutor

A circulação de corrente elétrica em um condutor origina um campo magnético ao seu redor.

Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, ocorre uma orientação no movimento das partículas no seu interior. Essa orientação do movimento das partículas tem um efeito semelhante ao da orientação dos ímãs moleculares. Como consequência dessa orientação, surge um campo magnético ao redor do condutor.

As linhas de força do campo magnético criado pela corrente elétrica que passa por um condutor, são circunferências concêntricas num plano perpendicular ao condutor.

Para o sentido convencional da corrente elétrica, o sentido de deslocamento das linhas de força é dado pela regra da mão direita. Ou seja, envolvendo o condutor com os quatro dedos da mão direita de forma que o dedo polegar indique o sentido da corrente (convencional). O sentido das linhas de força será o mesmo dos dedos que envolvem o condutor.

A intensidade do campo magnético ao redor do condutor depende da intensidade da corrente que nele flui. Ou seja, a intensidade do campo magnético ao redor de um condutor é diretamente proporcional à corrente que circula neste condutor.

Campo magnético em uma bobina (ou solenóide)

Para obter campos magnéticos de maior intensidade a partir da corrente elétrica, basta enrolar o condutor em forma de espiras, constituindo uma bobina. A tabela a seguir mostra uma bobina e seus respectivos símbolos conforme determina a NBR 12521.

As bobinas permitem um acréscimo dos efeitos magnéticos gerados em cada uma das espiras. A figura a seguir mostra uma bobina constituída por várias espiras, ilustrando o efeito resultante da soma dos efeitos individuais.

Os pólos magnéticos formados pelo campo magnético de uma bobina têm características semelhantes àsquelas dos pólos de um ímã natural. A intensidade do campo magnético em uma bobina depende diretamente da intensidade da corrente e do número de espiras.

Magnetismo remanente

Quando se coloca um núcleo de ferro em uma bobina, em que circula uma corrente elétrica, o núcleo toma-se imantado, porque as suas moléculas se orientam conforme as linhas de força criadas pela bobina.

Cessada a passagem da corrente, alguns ímãs moleculares permanecem na posição de orientação anterior, fazendo com que o núcleo permaneça ligeiramente imantado.

Essa pequena imantação é chamada magnetismo remanente ou residual. O magnetismo residual é importante, principalmente para os geradores de energia elétrica. Este tipo de ímã chama-se ímã temporário.

Referências Bibliográficas

1. ELETROELETRÔNICA – Escola SENAI Suíço – Brasileira – Técnico em Mecânica de Precisão
2. BARTKOWIAK, Robert A. – Circuitos Elétricos – 2ª edição – Makron Books – SP – 1999
3. ELETRICISTA DE MANUTENÇÃO – Eletricidade Básica – SENAI - SP